СТРАТЕГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО РАЗРУШЕНИЯ DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.151.2015.69133

К-ты техн. наук О.М.Пустовойтова, С.Н.Камчатная, Е.Ф.Орел, аспір. С.Ю.Набока

СТРАТЕГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ СПОРУД 3 УРАХУВАННЯМ ПРОГРЕСУЮЧОГО РУЙНУВАННЯ

К-ти техн. наук О.М.Пустовойтова, С.М.Камчатна, Є.Ф.Орел, аспір. С.Ю.Набока

STRATEGIES OF THE DESIGN OF THE FACILITIES TAKING INTO ACCOUNT PROGRESSIVE DESTRUCTION

Ph.D. PustovoitovaO., KamchatnaS., Orel Y., postgraduateNabokaS.

В статье рассмотрены основные положения о прогрессирующих разрушениях, проанализированы исследования зарубежных и отечественных ученых в данной области. Приведены существующие на сегодняшний день методы предупреждения прогрессирующих разрушений и возникающие при воздействии эксплуатационных и аварийных нагрузок на сооружения проблемы. Предложены направления по разработке мероприятий и проектных решений по предотвращению прогрессивных разрушений.

Ключевые слова: прогрессирующее разрушение, методы предотвращения прогрессирующего разрушения, нормативные требования.

У статті розглянуті основні положення про прогресуючі руйнування, проаналізовані дослідження закордонних і вітчизняних учених у даній області. Наведені існуючі на сьогоднішній день методи попередження прогресуючих руйнувань і виникаючі впливи при експлуатаційних і аварійних навантаженнях на спорудження проблеми. Запропоновані напрямки по розробці заходів і проектних розв'язків по запобіганню прогресивних руйнувань.

Ключові слова: прогресуюче руйнування, методы запобігання прогресуючого руйнування, нормативні вимоги.

With the loss of building structures performance of a so-called effect of "dominoes". This phenomenon is consistent involvement in the development process of the destruction of the new groups of constructions up to the complete destruction of the object and develops as a result of the combined exposure to a particular workload and the additional load on the structures that have lost their performance. The most common cause of progressive destruction are external effects caused by manmade or natural factors. In the current regulations are given the degree of protection level and the number of structural and non-structural measures taken to reduce terrorist and other risks could lead to the collapse of buildings, as well as protect the building structure from the progressive collapse, progressive collapse caused by terrorist activities. The article describes the main provisions of the progressive destruction of the analyzed studies of foreign and domestic scientists in the field. Given the currently existing methods to prevent progressive damage arising from action and operational and emergency loads on structures problems. The directions for the development of activities and design solutions to prevent progressive damage

Keywords: progressive destruction methods to prevent progressive collapse, regulatory requirements.

Введение. Утрата отдельными появлению и развитию так называемого строительными конструкциями своих эффекта «домино» — последовательного эксплуатационных качеств может приводить к вовлечения в развитие процесса разрушения

новых групп строительных конструкций вплоть до полного разрушения объекта [1].

Этот явление прогрессирующего обрушения объектов при аварийных отказах строительных конструкций развивается в результате комбинированного особого воздействия на них рабочей нагрузки и дополнительной нагрузки от конструкций, утративших свои эксплуатационные качества.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. В настоящее время в связи с:

- отсутствием четких требований и рекомендаций в нормативной литературе по предупреждению прогрессирующих разрушений;
- отсутствием алгоритма по проектированию зданий и сооружений, защищенных от прогрессирующего разрушения;
- широким использованием компьютерных технологий без четкого понимания взаимоотношения между расчетной и конструктивной схемой;
- отсутствием контроля за исполнение проектных и строительных работ;
- нарастанием террористической деятельности;
- отсутствие единого метода и стратегии, обеспечивающих устойчивость конструкции здания и сооружения к прогрессирующему разрушению при запроектированных аварийных ситуациях [2].

появилась необходимость осуществления ряда мероприятий по противодействию разрушениям.

Необходимость решения этой задачи в процессе проектирования здания является важнейшей составляющей в обеспечении безопасности здания при воздействии эксплуатационных и аварийных нагрузок.

Чаще всего причиной прогрессирующего разрушения являются внешние воздействия, вызванные техногенными или природными факторами. Наибольший процент возникновения прогрессирующих разрушений занимают хрупкое разрушение (при пожарах и

т.д.) и потеря устойчивости (взрывы, землетрясения), в меньшей степени усталостное и вязкое разрушение.

Предупредить прогрессирующее разрушение возможно следующими способами проектирования зданий:

- снижение уровня риска (прямой расчет «риска», дифференцированная надежность);
- использование расчетноконструктивных решений исключающих возможные повреждения (общее упрочнение всего здания, местное усиление, взаимосвязь).

Местное усиление, то есть упрочнение чувствительных наиболее мест. трудно поддаётся стандартизации для включения в нормы проектирования, так как для этого нужно чётко представлять характер возможных воздействий на здание, в том числе атак Конструктивная террористов. взаимосвязь элементов или непрерывность конструкции, также является способом общего или местного упрочнения. Так же в нормативных документах США [3] предлагается заменить определение «прогрессирующее разрушение» на более точное «непропорциональное разрушение».

Анализ последних исследований и публикаций. На данный момент основными документами, описывающими решения сложившегося вопроса, являются:

- Украина ДБН В.2.2-24-2009. Будинки споруди. Проектування
- Великобритания В8 5950 2001, В8 8110 2005а, 2005в, В8 5628 2005;
- СТБ ЕН 1990-2007 Еврокод Основы проектирования несущих конструкций» Госстандарт Минск. 2007;
- ТКП ЕН 1992-1-1-2009 Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций . Часть 1-1. Общие правила для зданий. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. Минск. 2010;
- Канада MBCC; США AC! 318, О5A 2003, 2005;
- РФ Нормативы по защите зданий при ЧС, а также рекомендациям МОСКОМАРХИТЕКТУРЫ Правительства Москвы;

- Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения, 2006, Москва.
- Рекомендации по защите монолитных прогрессирующего жилых зданий ОТ обрушения, Г.И. Шапиро, Э.А. Эйсман, А.С. Залесов. М.: Москомархитектуры, 2005.
- Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий, Указание Москомархитектуры от.24.08.1999 №36 1999, Москва.
- НормыСША UFC 4-023-03. Unified Faclities Criteria (UFC). Design of Buildings to Progressive Collapse. DepartmentofDefenseUSA, 2010
- Казахстан Рекомендации по защите от прогрессирующего обрушения. Агентство Республики Казахстан по делам строительства жилищно-коммунального хозяйства, Астана 2011.
- В перечисленных нормативных документах нет единого подхода определению проблемы и формированию возможных решений, но в них объединены все перечисленные стандарты И следующие положения:
- не допустить катастрофу полного разрушения сооружения от незначительного, повреждения конструктивного локального элемента при чрезвычайных воздействиях;
- требование о создании целостной конструктивной системы, состоящей не только из необходимых, конструктивных элементов, но и необходимого минимального количества специальных связевых элементов.

оценки степени Способы и методы повреждения эксплуатационной или пригодности сооружения несколько отличаются: одних документах повреждаемых ограничивается площадь конструкций перекрытия; других оценивается состояние конструкций, не вышедших из работы; а так же экономическая выгода строительства нового или восстановление старого здания.

В таблице 1 приведено сопоставление основных положений расчету

прогрессирующее разрушение в различных нормативных документах.

Согласно данным **GSA** [4] прогрессирующем обрушении (progressivecollapse): «Сооружение должно быть способно противостоять повреждениям не приводящих дестабилизации всей конструкции в целом. Выход из работы балки, колонны, плиты не приводить К потере должен способность конструктивных элементов над, под и рядом расположенных пролетах от разрушенного элемента. При выходе из работы колонны и балки - колонны над разрушенным разрушаться, элементом не должны состояние ограничивается большим прогибом». Требования данных нормативных документов [5] направлены конструктивный элемент и не влияют на степень защиты все конструктивной системы в целом.

Определение степени защиты, уровня и количества конструктивных неконструктивных мероприятий принимаемых для снижения террористических и других рисков способных привести к обрушению сооружения устанавливаются [5, 6] DOD (Departmentofdefense), TO есть документы разрабатываемые департаментом (UFC 1-200-1; UFC 3-301-01; UFC 3-310-01; UFC 4-010-01; UFC 4-010-02; UFC 4-020-01; UFC 4-023-03). Данные документы создают структуры защиты здания progressive collapse, прогрессирующего обрушения вызванного террористическими действиями (документами UFC 4-010-01; UFC 4-010-02) и другими (UFC 4-023-03).

Приведенный выше алгоритм иллюстрирует безопасности систему инжиниринга организованную серией документов UFC, главным из которых является UFC 4-020-01, он формирует взаимную связь документов, а так же описывает угрозы, сценарии возможные возможных аварий, средства способные нанести урон, определяет назначает уровни рисков, сравнивает стоимости последствий мероприятий, направленных на повышение

безопасности сооружения. Документы следующего уровня UFC 4-010-01 и UFC 4-020-02. Первый документ устанавливает требования ПО снижению вероятности террористических действий направленных на ситуаций способных создание прогрессирующее обрушение, при ЭТОМ степень защиты конструктивной системы и отдельного элемента определяется по UFC 4-023-03 [3]. Общие требования документа UFC 4-023-03[3]:

- определение категории здания по назначению и требований к проекту;
- проектные методики определения параметров работы здания в условиях прогрессирующего обрушения;
 - методика связевых усилий (ТГ);
- методика альтернативных траекторий перераспределения усилий (AP);
- методика увеличения местной жесткости (ELR);
- дополнительные требования в зависимости от используемого материала конструктивных материалов.

Основополагающим документом европейской системе проектирования является EN 1990. [5] Данный документ устанавливает требования к показателям сооружения по несущей способности, эксплуатационной пригодности, долговечности, надежности, дифференциации надежности, базисным переменным. Документ формирует методику расчетов ПО предельным состояниям применением частных коэффициентов безопасности, при этом проверка расчетов с коэффициентами может частными детерминированным выполняться или вероятностным способами. Система нормативных документов [3, 5, 7, 9, 10] Еврокодов построена на детерминированном способе с применением проверок основанных на имеющемся опыте, но позволяет выполнять вероятностные испытания расчеты. Проектирование сооружений в аварийных ситуациях по [2] предполагает выполнения расчетов по чрезвычайной ситуации при чрезвычайном воздействии, как описано в EN 1990, EN 1991-1-7 и EN 1992-1-1. Требования

по выполнению расчетов на особое воздействие установлены документом EN 1991-1-7. Документ не рассматривает случаи взрывов вне здания от террористических актов и военных действий. Как такового понятия прогрессирующего обрушения нет, в соответствии с EN 1990 [5] необходимо выполнять расчет по основным расчетным ситуациям, в том числе и на чрезвычайную ситуацию.

Данный расчет на особое воздействие показывает степень живучести сооружения: на идентифицированные воздействия. идентифицированные По определению, термин живучесть является характеристикой здания противостоять прогрессирующему обрушению. Живучесть (robustness) свойство конструкции противостоять таким событиям, как пожар, взрыв, удар или результат человеческих ошибок, без возникновения повреждений, непропорциональны которые были бы причине, вызвавшей повреждения.

Выводы. Несмотря на проделанную большую работу исследователями многих стран, включая Украину, задач по разработке мероприятий и проектных решений предотвращению прогрессивных разрушений остаётся ещё много. В настоящий период необходимы широкомасштабные теоретические исследования В указанном направлении, экспериментальные так И подтверждения принятых исходных предпосылок расчете зданий прогрессирующее разрушение.

Таблица 1

Основные положения по расчету прогрессирующих разрушений

Рекомендации по защите от прогрессирующего обрушения, Республика Казахстан	ДБН В.2.2-24-2009. Будинки споруди. Проектування	Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения, [4]	UFC 4-023-03. Unified Facilities Criteria (UFC) [3]	EM 1990, EH1991-1-7
В качестве локальных	У якості локального	В качестве локального	- не допускает	- ограничения
воздействий следует	(гіпотетичного) обвалення	(гипотетического)	разрушения	соответствуют
рассматривать:	слід розглядати обвалення	разрушения следует	конструктивных	меньшему из
- возникновение	(видалення) вертикальних	рассматривать разрушение	элементов над	100 м ² или 15%
карстовой воронки	конструкцій одного (будь-	(удаление) вертикальных	местом	площади на
диаметром 6 м,	якого) поверху будинку,	конструкций одного	локального	каждом из двух
расположенной в любом	обмеженого навкруги	(любого) этажа здания,	обрушения;	перекрытий на
месте- под фундаментом	площею до 80 м ² (діаметр	ограниченных кругом	- определяется	смежных,
здания (для карстоопасных	10 м):	площадью до 80 м ² (диаметр	общая	этажах,
районов);	- обвалення (видалення)	10 м) для зданий высотой до	характеристика	повреждение
- повреждение	двох стін, що	200 м и до	защиты здания от	которых может
перекрытия общей	перетинаються, на ділянках	100 м ² (диаметр 11,5 м) для	прогрессирующег	возникнуть при
площадью до 40 м^2 ;	від місця їх перетину	зданий выше 200 м:	о обрушения при	удалении опоры,
– неравномерные	(наприклад, від кута	а) двух пересекающихся	локальном	колонны или
осадки основания;	будинку) до найближчого	стен на участках от места их	разрушении	стены;
– горизонтальная	отвору в кожній стіні або до	пересечения (в частности, от	отдельного	- расчетные
нагрузка на вертикальные	наступного вертикального	угла здания) до ближайшего	конструктивного	сочетания
несущие элементы 3,5 т для	перетину зі стіною іншого	проема в каждой стене или до	элемента по	воздействий
стержневых- и 1 т для	напрямку;	следующего вертикального	методу АТ;	выполнение
пластинчатых на 1 м ²	- обвалення (видалення)	стыка со стеной другого	- система	расчетов на
поверхности	окремої колони (пілону)	направления или участке	расчетов	конкретное
рассматриваемого элемента	або колони (пілону) з	указанного размера;	определяет общий	особое
в пределах одного этажа	прилеглими до них	б) колонн (пилонов) или	показатель уровня	воздействие и
(коэффициент надежности	ділянками стін, розміщених	колонн (пилонов) с	защиты здания	снижение рисков
по нагрузке равен единице);	на одному поверсі на площі	примыкающими к ним	против	при
Проект первой	локального обвалення;	участками стен, в том числе	террористических	неидентифициро
редакции 12 разрушение	- обвалення ділянки	навесных ограждающих	и других угроз,	ванных
(удаление) конструкций	перекриття одного поверху	панелей, расположенных на	затем	воздействиях

одного (любого) этажа	на площі локального	участке, не превышающем	устанавливает	- проверяет
здания, ограниченных-	обвалення.	указанный размер	требуемые	работоспособнос
кругом площадью до	У всіх: випадках площа	локального разрушения;	мероприятия	ть здания при
80 м ² (диаметр 10 м) для		в) перекрытия на	1 1	конкретном
зданий выстой до 200 м и		указанной площади.		особом
площадью до 100 м2	елементів, розташованих на	Для оценки устойчивости		воздействии и
(диаметр 11.5 м) для зданий	ділянці 80° м^2 , не повинна	здания против		мероприятия по
выше 200 м.	перевищувати для	прогрессирующего		снижению риска
	залізобетонних елементів	обрушения разрешается		угрозы
	0,9 м ² , для фібробетонних	рассматривать лишь		7 1
	елементів 0.7 M^2 , для	наиболее опасные расчетные		
	жорсткої арматури 15%;	схемы разрушения.		
	- перекриття на вказаній	Каждое перекрытие		
	площі.	высотного здания должно		
	Кожне перекриття	быть рассчитано на		
	висотного будинку повинне	восприятие веса участка		
	бути розраховане на	перекрытия вышележащего		
	сприйняття ваги ділянки	этажа (постоянная и		
	перекриття вищого поверху	длительная нагрузки с		
	(постійне й тривале	коэффициентом		
	навантаження з	динамичности $k_f = 1,5$) на		
	коефіцієнтом динамічності	площади 80 м^2 для зданий до		
	$k_f = 1,5$) на площі 80 м ² .	$200 \text{ м и } 100 \text{ м}^2$ для зданий		
		выше 200 м.		

Список использованных источников

- 1. Кудишин Ю.И. Живучесть конструкций важный фактор снижения потерь в условиях аварийных ситуаций. Вопросы обеспечения надежности и живучести большепролетных конструкций покрытий [Текст]/ Тезисы к НТС МГСУ. М.: НТС МГСУ, 2008. 4-5 с.
- 2. Проектирование зданий и сооружений при аварийных взрывных воздействиях [Текст]: учебное пособие/ Б.С. Расторгуев, А.И. Плотников, Д.З. Хуснутдинов. М.: Изд. АСВ, 2007. 152 с.
- 3. UFC 4-023-03. Unified Facilities Criteria (UFC). Design of Buildings to Resist Progressive Collapse. Department of Defense USA, [Text]/ New-York, 2010
- 4. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения». Г.И. Шапиро, Э.А. Эйсман, А.С. Залесов. М.: Москомархитектуры. 2005. 231 с.
- 5. CEN, Eurocode 4 "Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1.1 : General Rules and Rules for Buildings", [Text]/ Eurocode 4, October 1992. 76 p.
- 6. Еврокод. Основы проектирования. Несущих конструкций [Текст]: СТБ EN 1990-2007:Госстандарт, Минск.: 2007, 115 с.
- 7. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст]: ДБН В.1.2 14: К.: Держбуд України, 2008. 158 с. (Державні будівельні норми України).
- 8. СТО 36554501-014-2008 Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения. М.: НИЦ «Строительство», 2008.
- 9. Еврокод 2 Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий [Текст]: ТКП EN1992-1-1-2009: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск.: 2010. 143 с.
- 10. Еврокод 1 Воздействия: на конструкции Часть 1-7, Общие воздействия. Особые воздействия [Текст]: ТКП EN 1991-1-7-2009: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск.: 2010.-163 с.
- 11. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве [Текст]: МГСН 4-19-2005: М.: Москомархитектуры, 2005.-112 с.
- 12. Рекомендации по защите жилых зданий стеновых конструктивных систем при чрезвычайных ситуациях. Ю.М. Стругацкий, Г.И. Шапиро, К.А. Эйсман. М.: Комплекс архитектуры, строительства, реконструкции и развития города, 2000. 95 с.
- 13. Рекомендации: по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях. Ю.М. Стругацкий, В.С. Коровкин, Г.И. Шапиро, Ю.А. Эйсман. М.: Москомархитектуры, 2002. 180 с.

Рецензент д-р техн. наук. профессор Тимофеева Л.А.

Пустовойтова Оксана Михайловнакандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Харьковского национального университета городского хозяйстваимени А.Н.Бекетова. Тел.: (057) 707-31-07. E-mail: oksana pustov@mail.ru

Камчатная Светлана Николаевнакандидат технических наук, доцент кафедры пути и путевого хозяйства Украинской государственной академии железнодорожного транспорта. Тел.: (057) 730-10-67. E-mail: kamchatnayasn@gmail.com

Орел Евгений Федоровичкандидат технических наук, доцент кафедры пути и путевого хозяйства Украинской государственной академии железнодорожного транспорта. Тел.: (057) 730-10-67. E-mail: kamchatnayasn@gmail.com

Набока Сергій Юрьевичаспирант кафедры строительных конструкций Харьковского национального университета городского хозяйстваимени А.Н.Бекетова. Тел.: (057) 707-31-07. E-mail: 3325904490@mail.ru

Pustovoitova Oksana, Ph.D., Associate Professor of «Building construction» department, Kharkov National University of the municipal economy, named A.N.Beketov, Kharkiv, Ukraine

Kamchatna Svitlana, Ph.D., Associate Professor of «Track and Track Facilities» department, Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

Orel Yevhen, Ph.D., Associate Professor of «Track and Track Facilities» department, Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

Naboka Sergey, postgraduate of «Building construction» department, Kharkov National University of the municipal economy, named A.N. Beketov, Kharkiv, Ukraine